

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.





**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## Verfahren und Schaltungsanordnung zur verbesserten Datenübertragung

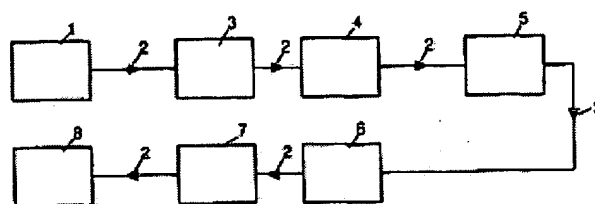
**Patent number:** DE19748880  
**Publication date:** 1999-05-12  
**Inventor:** HUBER KLAUS DR ING (DE)  
**Applicant:** DEUTSCHE TELEKOM AG (DE)  
**Classification:**  
- international: H04L27/34; H03M13/00  
- european: H04L27/34C1  
**Application number:** DE19971048880 19971106  
**Priority number(s):** DE19971048880 19971106

**Also published as:**

 WO9925103 (A3)  
 WO9925103 (A2)  
 EP0958685 (A3)  
 EP0958685 (A2)

**Abstract of DE19748880**

The invention relates to a method and a circuit arrangement for efficient use of multistage modulation methods using orthogonal base functions for the representation of a signal to be transmitted. A 16-QAM signal constellation can be used, for instance, in a simple and optimal way, for transmitting at low data rates. The circuit arrangement corresponding to said method comprises a source (1) which supplies a data stream (2) and is connected to a code converter (3) for converting the data stream. The output of the code converter (3) is connected to a modulator (4) in which the corresponding signal points are selected with the right probability. The data stream (2) is then transmitted over a channel (5), and a demodulator (6) situated downstream from a code converter (7) carries out the inverse operation.



---

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 197 48 880 C 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 04 L 27/34  
H 03 M 13/00

21 Aktenzeichen: 197 48 880.3-31  
22 Anmeldetag: 6. 11. 97  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 12. 5. 99

DE 197 48 880 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

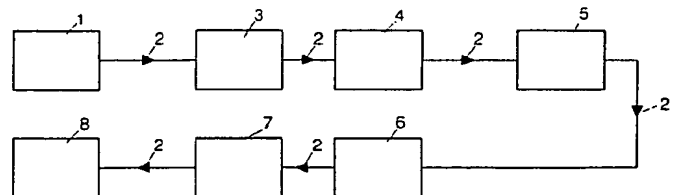
73 Patentinhaber:  
Deutsche Telekom AG, 53113 Bonn, DE

72 Erfinder:  
Huber, Klaus, Dr.-Ing., 64283 Darmstadt, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
BLAHUT, R.E.: Digital Transmission of  
Information, Reading: Addison-Wesley, 1990,  
Kapitel 2 und 3;

54 Verfahren und Schaltungsanordnung zur verbesserten Datenübertragung

57 Es werden ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur verbesserten Datenübertragung und zur effizienten Nutzung von mehrstufigen Modulationsverfahren beschrieben, die orthogonale Basisfunktionen zur Darstellung des zu übertragenden Signals benutzen. Das Verfahren ermöglicht die optimale Nutzung der Signalenergie von Signalkonstellationen. Dies kann für technische Anwendungen in zweierlei Hinsicht von Vorteil sein, nämlich zum einen können Signalkonstellationen, die sehr effizient sind, allerdings den Nachteil haben, daß die Anzahl der Signalepunkte keine Zweierpotenz ist, nun auf einfache Art und Weise an praktisch verwendete Datenformate, wie zum Beispiel eine Bitfolge, angepaßt werden. Zum anderen können häufig benutzte Signalkonstellationen, wie zum Beispiel 16-QAM in einfacher und optimaler Weise dazu benutzt werden, um geringere Datenraten zu übertragen. Die Schaltungsanordnung zur Durchführung dieses Verfahrens besteht aus einer Quelle (1), die einen Datenstrom (2) liefert und die mit einem Umcodierer (3) zur Codierung des Datenstroms verbunden ist. Der Ausgang des Umcodierers (3) ist mit einem Modulator (4) verbunden, in dem die entsprechenden Signalepunkte mit der richtigen Wahrscheinlichkeit ausgewählt werden. Nach Übertragung des Datenstroms (2) über einen Kanal (5) folgt ein Demodulator (6). Dem Demodulator (6) ist ein Umcodierer (7) nachgeschaltet, der die inverse Operation zu der des Umcodierers (3) ausführt. Der Ausgang dieses Umcodierers (7) ist mit ...



DE 197 48 880 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur verbesserten Datenübertragung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bzw. des Patentanspruchs 9.

In der Nachrichtentechnik sind Übertragungsverfahren bekannt und auch in der Praxis im Einsatz, die orthogonale Basisfunktionen zur Darstellung des zu übertragenden Signals benutzen. Derartige Übertragungsverfahren sind zum Beispiel in dem Buch R. E. Blahut Digital Transmission of Information, Addison-Wesley, Reading, 1990, Kapitel 2 und 3, beschrieben.

Ein Nachrichtensignal  $s(t)$  im Basisband wird hierbei als Summe von orthogonalen Basisfunktionen dargestellt. Um die Nachricht  $m = (m_0, m_1, m_2 \dots m_{K-1})$ , wobei die  $m_j$  aus einem passend gewählten Alphabet ausgewählt sind, in das Signal  $s(t)$  einzubinden, bildet man das Signal wie folgt:

$$s(t) = m_0 f_0(t) + m_1 f_1(t) + \dots + m_{K-1} f_{K-1}(t).$$

Ein Nachrichtensignal kann demzufolge als Punkt im K-dimensionalen Raum angesehen werden und zwar charakterisiert durch den Wertetupel  $(m_0, m_1 \dots, m_{K-1})$ . Die Gesamtheit aller zulässigen Signale bezeichnet man als Signalkonstellation. In der Praxis besonders beliebt sind zweidimensionale Signalkonstellationen, wie zum Beispiel die in Fig. 1 der vorliegenden Anmeldung abgebildete sogenannte 16-QAM Signalkonstellation. Diese 16-QAM Signalkonstellation ist zum Beispiel in dem obengenannten Buch, Seite 63 beschrieben. Bei allen hier betrachteten Signalkonstellationen sei der Mindestabstand zweier Signalpunkte auf 1 normiert. Die bekannten Übertragungsverfahren zur effizienten Nutzung von mehrstufigen Modulationsverfahren ermöglichen jedoch noch nicht die optimale Nutzung der Signalenergie von Signalkonstellationen. Zum einen können nämlich Signalkonstellationen, die sehr effizient sind, allerdings den Nachteil haben, daß die Anzahl der Signalpunkte keine Zweierpotenz ist und zum anderen können häufig benutzte Signalkonstellationen, wie zum Beispiel 16-QAM noch nicht in einfacher und optimaler Weise dazu genutzt werden, geringe Datenraten zu übertragen.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur verbesserten Datenübertragung mit effizienter Nutzung von mehrstufigen Modulationsverfahren zu schaffen, die eine optimale Nutzung der Signalenergie von Signalkonstellationen ermöglichen und wodurch häufig benutzte Signalkonstellationen, wie zum Beispiel 16-QAM, in einfacher und optimaler Weise zur Übertragung geringerer Datenraten genutzt werden können.

Die erfindungsgemäße Lösung der Aufgabe des Verfahrens ist im Kennzeichen des Patentanspruchs 1 charakterisiert.

Weitere Lösungen bzw. Ausgestaltungen des Verfahrens sind in den Patentansprüchen 2 bis 8 charakterisiert.

Die erfindungsgemäße Lösung für die Schaltungsanordnung ist im Kennzeichen des Patentanspruchs 9 charakterisiert.

Das hier beschriebene Verfahren und die beschriebene Schaltungsanordnung ermöglichen die optimale Nutzung der Signalenergie von Signalkonstellationen. Dies kann für technische Anwendungen in zweierlei Hinsicht von Vorteil sein. Zum einen können Signalkonstellationen, die sehr effizient sind, allerdings den Nachteil haben, daß die Anzahl der Signalpunkte keine Zweierpotenz ist, nun auf einfache Art und Weise an praktisch verwendete Datenformate, zum Beispiel eine Bitfolge, angepaßt werden. Zum anderen können

häufig benutzte Signalkonstellationen, wie zum Beispiel 16-QAM, in einfacher Weise optimal dazu genutzt werden, um geringere Datenraten zu übertragen. So kann die 16-QAM Signalkonstellation dazu benutzt werden, um im Mittel 3 Bit pro Signalpunkt zu übertragen, statt der üblichen 4 Bit pro Signalpunkt. Dies kann zum Beispiel technisch nützlich sein, um in bestehenden Sendern und Empfängern, die etwa 8-QAM mit den Punkten  $\{(-1/2, +1/2), (+1 + \sqrt{3})/2, 0\}$ ,  $(0, +(-1 + \sqrt{3})/2)$  als Signalkonstellation benutzen (also 3 Bit pro Signalpunkt), auf 16-QAM mit optimierten Wahrscheinlichkeiten zu wechseln, bei gleichzeitigem Leistungsgewinn von ca. 1 dB.

Das Verfahren hat noch eine weitere Eigenschaft, die sich vorteilhaft nutzen läßt. Dies ist die besonders einfach zu bewerkstellende Umcodierung, wenn der Eingangsdatenstrom eine gleich verteilte Folge, insbesondere Bitfolge ist. Die Umcodierung kann dann mit einem verlustlosen Dekompressionsverfahren wie etwa dem Huffman-Verfahren erfolgen. Die inverse Umcodierungsoperation auf der Empfängerseite erfolgt demgemäß mit dem zugehörigen Kompressionsverfahren. Eine gleichverteilte Folge bzw. Bitfolge erhält man zum Beispiel durch Verschlüsselung. Dies bedeutet, daß man die gegebenenfalls lästige Gewährleistung bzw. Erzeugung einer solchen Folge durch Hinzufügen eines Mehrwertes, nämlich der Verschlüsselung, erreichen kann. Da in zukünftigen Übertragungssystemen die Verschlüsselung eine immer größere Rolle spielen wird, und heute bei vielen Systemen schon mitgeliefert wird, ist das neue Verfahren besonders praktisch.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den nachfolgenden Ausführungsbeispielen, die anhand der Zeichnungen und Tabellen beschrieben werden.

In der Beschreibung, in den Patentansprüchen, in der Zusammenfassung und in den Figuren der Zeichnung werden die in der hinten anhängenden Liste der Bezugszeichen verwendeten Begriffe und Bezugszeichen verwendet.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen näher erklärt. In der Zeichnung bedeuten:

**Fig. 1** eine 16-QAM Signalkonstellation;

**Fig. 2** eine hexagonale Signalkonstellation;

**Fig. 3** ein Prinzipschaltbild einer Schaltungsanordnung, die zur verbesserten Datenübertragung mit Hilfe effizienter Nutzung von mehrstufigen Modulationsverfahren dient;

**Fig. 4** eine Tabelle 1, die die Wahrscheinlichkeiten  $p_1, p_2, p_3, p_4$  für die Signalpunkte von Fig. 2 angibt und

**Fig. 5** eine Tabelle 2, die die Abbildung der Binärdaten zu den Signalpunkten und umgekehrt darstellt.

Wie bereits ausgeführt wurde, benutzen bekannte Übertragungsverfahren orthogonale Basisfunktionen zur Darstellung des zu übertragenden Signals. Ein Nachrichtensignal  $s(t)$  wird hierbei als Summe von orthogonalen Basisfunktionen dargestellt. Ein Nachrichtensignal kann als Punkt im K-dimensionalen Raum angesehen werden. Die Gesamtheit aller zulässigen Signalpunkte wird als Signalkonstellation bezeichnet, wobei die in Fig. 1 abgebildete sogenannte 16-QAM Signalkonstellation, die eine der zweidimensionalen Signalkonstellationen darstellt, besonders beliebt ist.

Hat eine Signalkonstellation insgesamt M Signalpunkte, von denen je  $M_j$  die Signalenergie  $E_j$  haben und ist die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines solchen Signalpunktes gleich  $p_j$ , so erreicht man die nach Leistung bzw. Informationsrate bei dieser Leistung optimalen Werte durch Einstellung der Wahrscheinlichkeiten gemäß der unten angegebenen Formel. Der Wert L gibt an, wieviel verschiedene Energiestufen insgesamt auftreten.

$$(E_j - E_1)/(E_L - E_1)$$

$$p_j = c (p_L/p_1)$$

$$j = 1, 2, \dots, L,$$

wobei die Konstante  $c$  so gewählt ist, daß die Summe über alle Wahrscheinlichkeiten gleich eins ist, das heißt die Summe über alle  $j$  von  $M_j p_j$  ist gleich eins. Als Beispiel wird hier die hexagonale Signalkonstellation in Fig. 2 angegeben. Aus Normierungsgründen ist der Mindestabstand der Signalepunkte zu eins gewählt. Hier sind  $L = 4$  Energiestufen vorhanden.  $E_1 = 0$ ,  $E_2 = 1$ ,  $E_3 = 3$  und  $E_4 = 4$ . Es gibt einen Signalepunkt mit Signalenergie Null ( $M_1 = 1$ ) und je 6 Signalepunkte mit Signalenergieen 1, 3 und 4, das heißt also  $M_2 = M_3 = M_4 = 6$ .

Um zum Beispiel einen Datenstrom mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeitsverteilung auf die entsprechenden Signalepunkte abzubilden, wird ein verlustloser Datenkompressionsalgorithmus, wie zum Beispiel das Huffman-Verfahren, benutzt. Dieser Datenkompressionsalgorithmus sorgt dafür, daß die entsprechenden Signalepunkte mit der oben angegebenen Wahrscheinlichkeit auftreten. Das Huffman-Verfahren ist zum Beispiel beschrieben in D. A. Huffman, "A Method for the Construction of Minimum Redundancy Codes", Proc. IRE, Vol. 40, Sept. 1952, Seiten 1098-1101. Im nachfolgenden Beispiel wird eine binäre Bitfolge, bei der die Wahrscheinlichkeit für Einsen und Nullen gleich ist und die Bits statistisch unabhängig sind, umcodiert und zwar so, daß mit der in Fig. 2 dargestellten Signalkonstellation mit 19 Signalepunkten effizient im Mittel  $H = 4$  Bits pro Signalepunkt übertragen werden können. Aus der angegebenen Tabelle 1 nach Fig. 4 erhält man dann die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der einzelnen Signalepunkte. Anwendung eines Datenkompressionsverfahrens führt auf eine Zuordnung, wie man sie beispielsweise in Tabelle 2 findet. Mit der in Tabelle 2 gemäß Fig. 5 dargestellten Zuordnung kommt man der optimalen mittleren Signalenergie  $E_s = 1,7224$  sehr nahe. Man erhält eine mittlere Signalenergie von 1,8125. Zum Vergleich, die herkömmliche 16-QAM Signalkonstellation hat eine mittlere Signalenergie von 2,5. Das heißt mit anderen Worten, gegenüber der bekannten 16-QAM erhält man bei diesem einfachen Verfahren eine Verbesserung von  $10 \lg (2,5/1,8125)$  dB, das heißt etwa 1,4 dB. Mit komplexeren Zuordnungen kann man sich dem optimalen Wert beliebig annähern. Zur Veranschaulichung, mit obiger Zuordnung würde die mit einer Münze erzeugte Bitfolge 0111010000111110011101110001 dann mit den Signalepunkten  $Z_{32}$   $Z_1$   $Z_{25}$   $Z_{23}$   $Z_{25}$   $Z_{21}$   $Z_{24}$   $Z_{25}$  übertragen. Dabei ist  $Z_1$  der Signalepunkt mit Energie Null,  $Z_{2j}$ , wobei  $j = 1 \dots 6$  ist, sind die Signalepunkte mit Energie 1,  $Z_{3j}$  sind die Signalepunkte mit Energie 3 und  $Z_{4j}$  sind die Punkte mit Energie 4. Die Decodierung nach der Übertragung folgt entsprechend.

Zur weiteren Verbesserung des Verfahrens kann man spezielle Codierverfahren, die zum Beispiel für QAM oder hexagonale Signalkonstellationen entworfen wurden und in den Artikeln K. Huber, "Codes over Gaussian Integers", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 40, No. 1, January 1994, pp. 207-216 und K. Huber, "Codes over Eisenstein-Jacobi Integers", Finite Fields: Theory, Applications and Algorithms, (Las Vegas 1993), Contemporary Math. Vol. 168, American Math. Society, Providence, RI, pp. 165-179 sowie K. Huber, "Codes over Ton", IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 43, No. 2, March 1997, pp. 740-744, zu finden sind, benutzen.

Im folgenden wird anhand eines Prinzipschaltbildes nach Fig. 3 der Aufbau einer Schaltungsanordnung zur Durchführung des oben beschriebenen Verfahrens näher erklärt.

Es wird angenommen, daß eine Datenquelle 1 einen Datenstrom 2 liefert. Ein Umcodierer 3 sorgt dann dafür, daß ein Modulator 4 die entsprechenden Signalepunkte mit der richtigen Wahrscheinlichkeit auswählt. Nach Übertragung des Datenstromes 2 über einen Übertragungskanal 5 folgt nach einem nachgeschalteten Demodulator 6 mit Hilfe eines Umcodierers 7 die entsprechende inverse Operation, worauf schließlich der Datenstrom 2 zu einer Datensenke 8 gelangt. Der jeweilige Datenstrom 2 ist auf den Verbindungs- bzw. Übertragungsleitungen oder -kanälen zwischen den Komponenten 1, 3 bis 8 durch Pfeilspitzen auf den jeweiligen Leitungen bzw. Kanälen dargestellt.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Datenquelle
- 2 Datenstrom
- 3 Umcodierer
- 4 Modulator
- 5 Kanal
- 6 Demodulator
- 7 Inverser Umcodierer
- 8 Datensenke

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur verbesserten Datenübertragung und zur effizienten Nutzung von mehrstufigen Modulationsverfahren, die orthogonale Basisfunktionen zur Darstellung eines zu übertragenden Signals benutzen, **dadurch gekennzeichnet**, daß Signalepunkte mit einer bestimmten Signalenergie einer Signalkonstellation, die entsprechend eingestellter bzw. gewählter Wahrscheinlichkeiten zur Optimierung der Signalenergie bzw. Datenrate ausgewählt werden.
2. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß Quellencodierverfahren, wie zum Beispiel das bekannte Huffman-Verfahren, zur Anpassung von Datenfolgen zwecks Benutzung von orthogonalen Verfahren angewendet werden.
3. Verfahren nach einem der Patentansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zum Schutz gegen Übertragungsfehler ein dem Modulationsverfahren und Kanal angepaßter und fehlerkorrigierender Code eingefügt wird.
4. Verfahren nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der fehlerkorrigierende Code ein Blockcode ist.
5. Verfahren nach Patentanspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der fehlerkorrigierende Code ein Faltungscode ist.
6. Verfahren nach Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Blockcode ein Code über Gaußschen ganzen Zahlen modulo einer Gaußschen Zahl ist.
7. Verfahren nach Patentanspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Blockcode ein Code über Eisenstein-Jacobi Zahlen modulo einer Eisenstein-Jacobi Zahl ist.
8. Verfahren nach einem der Patentansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Eingangsdatenstrom verschlüsselt ist.
9. Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens zur verbesserten Datenübertragung mittels orthogonaler Funktionen, dadurch gekennzeichnet, daß einer Datenquelle (1) für einen Datenstrom (2) ein Umcodierer (3) nachgeschaltet ist, dessen Ausgang mit einem Modulator (4) zur Auswahl der entsprechenden Signalepunkte mit der richtigen Wahrscheinlichkeit verbunden ist.

daß der Ausgang des Modulators (4) mit dem Eingang eines Kanals (5) verbunden ist, dessen Ausgang mit dem Eingang eines Demodulators (6) verbunden ist, dem ein Codierer (7) zur Durchführung der inversen Operation zu der des Codierers (3) nachgeschaltet ist und  
daß der Ausgang dieses Codierers (7) mit einer Senke (8) für den Datenstrom (2) verbunden ist.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65



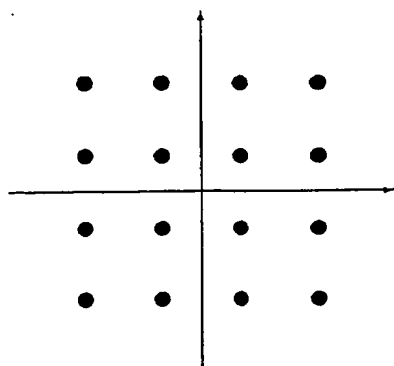


FIG. 1

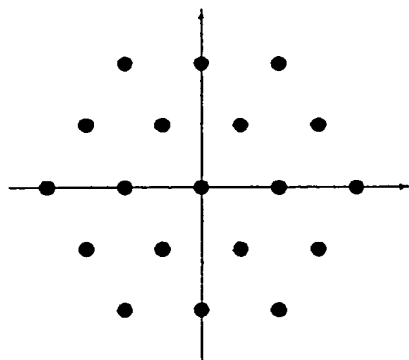


FIG. 2

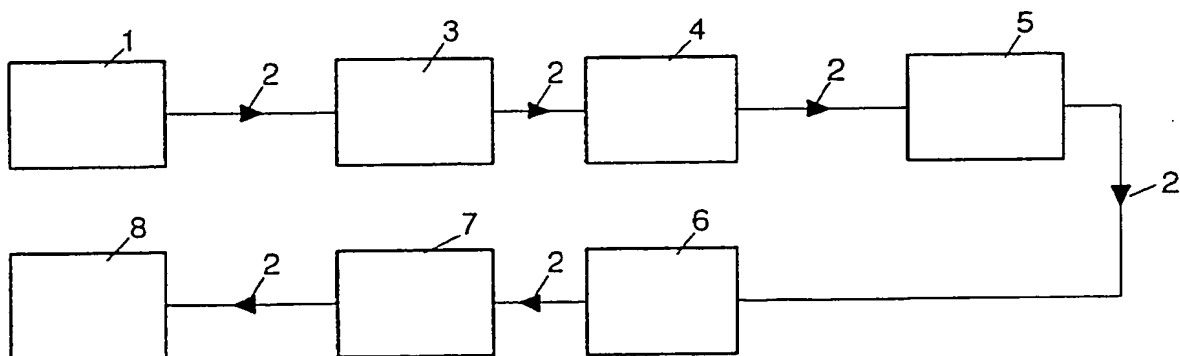


FIG. 3

$E_s$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$H$
2.526	1/19	1/19	1/19	1/19	4.2479 bit
1.7224	0.1313	0.08534	0.03603	0.02341	4 bit
0.8118	0.3372	$9.931 \cdot 10^{-2}$	$8.614 \cdot 10^{-3}$	$2.537 \cdot 10^{-3}$	3 bit
0.3962	0.6133	$6.370 \cdot 10^{-2}$	$6.870 \cdot 10^{-4}$	$7.135 \cdot 10^{-5}$	2 bit

FIG. 4

Punkt	binäre Daten
$z_1$	100
$z_{21}$	1101
$z_{22}$	1100
$z_{23}$	1111
$z_{24}$	1110
$z_{25}$	001
$z_{26}$	000
$z_{31}$	01111
$z_{32}$	01110
$z_{33}$	10101
$z_{34}$	10100
$z_{35}$	10111
$z_{36}$	10110
$z_{41}$	01001
$z_{42}$	01000
$z_{43}$	01011
$z_{44}$	01010
$z_{45}$	01101
$z_{46}$	01100

FIG. 5